LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON RÖNTGENKINOAUFNAHMEN UND VIDEORECORDING BEI BEWEGUNGS-EINSTELLUNGEN DES KIEFERGELENKES BEI GLEICHZEITIG BEWEGTER RÖHRE

Reinhard Merk

1972

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546014_0056

AUS DER NEURORADIOLOGISCHEN ABTEILUNG
(Vorsteher: Professor Dr. K. DECKER)
DER NERVENKLINIK DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN
(Direktor: Professor Dr. H. Hippius)

LEISTUNGSFÄHIGKEIT VON RÖNTGENKINOAUFNAHMEN UND VIDEORECORDING BEI BEWEGUNGSEINSTELLUNGEN DES KIEFERGELENKES BEI GLEICHZEITIG BEWEGTER RÖHRE.

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
verfaßt und
einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Reinhard M e r k
aus Dietenheim
München 1972

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

1. Berichterstatter: Prof. Dr. K. Decker
2. Berichterstatter: Prof. Dr. J. Lissner
Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 19.12.1972

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

DISSERTATIONS– UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

I. EINLEITUNG

II. ALLGEMEINER TEIL

A. Problematik der Röntgendiagnostik
1. Geschichtlicher Rückblick
2. Vorteile der Radiokinematografie
3. Indikation der Radiokinematografie

B. Technische Apparaturen
1. Röntgenröhre
2. Röntgenbildverstärker
3. Filmkamera
4. Röntgen-Bildverstärker-TV-Kette
5. Magnetbandspeicher

C. Anatomie des Kiefergelenkes
1. Allgemeine Anatomie
2. Nervöse, arterielle und venöse Versorgung des Kiefergelenkes
3. Physiologie und Funktion des Kiefergelenkes

III. SPEZIELLER TEIL

A. Radiologie des Kiefergelenkes - Indikation und Zielsetzung
B. Verschiedene radiologische Darstellungstechniken
C. Anwendung des Videorecorders
D. Röntgenkino und Videorecording
1. Arbeitsgang
2. Technische Daten
3. Ergebnisse

IV. ZUSAMMENFASSUNG

V. LITERATURVERZEICHNIS

I. EINLEITUNG

Das Röntgenfernsehen ist innerhalb kurzer Zeit ein viel diskutiertes Thema geworden. Die Problematik umfaßt nicht nur die neue Apparatur und Technik, sondern auch die damit verbundenen Änderungen der röntgendiagnostischen Methoden und zielt auf die entscheidende Frage nach dem klinisch-röntgenologischen Wert, der dem Röntgenfernsehen zukommt. Mit der Radiokinematografie des Kiefergelenkes, also der Aufnahme der durch Röntgenstrahlen sichtbar gemachten Bewegungsabläufe am Gelenk auf einem Film und der gleichzeitigen Registrierung, ist es möglich, Unregelmäßigkeiten und pathologische Veränderungen der Gelenksfunktion übersichtlicher und verständlicher als mit den bisher üblichen röntgendiagnostischen Aufnahmemethoden darzustellen.

In einer gemeinsamen Studie wurden mehrfach die Leistungen des Kiefergelenkes während des Kauvorganges und des Sprechvorganges untersucht. Bisher wurde mit feststehender Kamera und Röntgenröhre gearbeitet. In dieser Arbeit soll untersucht werden, ob durch zusätzliche Bewegung der Röntgenröhre um das Gelenk eine wesentlich bessere und erweiterte räumliche Aussage, sozusagen eine "pseudostereoskopische Erfassung" vom Kiefergelenk in seiner Bewegung und seinen Bewegungsfreiheiten möglich ist. So soll auch dem nicht geübten Betrachter die Möglichkeit gegeben werden, seine Diagnose bei den verschiedenen Gelenkserkrankungen genauer stellen zu können.

Gleichzeitig soll die Leistungsfähigkeit von Röntgenkinoaufnahmen und Videorecording bei Bewegungseinstellungen des Kiefergelenkes und gleichzeitig bewegter Röhre geprüft werden.

Vor die Erörterung der neuen Aufnahmemethode soll eine allgemeine Betrachtung des Wesens und der Problematik der Radiokinematografie und des Videorecording gestellt werden.
Gestattet sei ferner ein kleiner Rückblick zur Geschichte des Röntgenfernsehens.

II. ALLGEMEINER TEIL

A. Problematik der Röntgendiagnostik

Eine richtige und genaue Zuordnung von Details ist oft nicht möglich. Das Röntgenbild ist ein Schattenbild. In der Tiefe gelegene Teile des zu untersuchenden Objekts unterscheiden sich auf der Fläche des Bildes nur durch unterschiedliche Absorptions- und Streuwerte von oberflächlich gelegenen Details. Diese überlagern aber oft so, daß keine exakte Zuordnung des Objektdetails zum Bilddetail möglich ist. Dieser Informationsmangel kann nur durch raumerfassende Röntgenverfahren oder durch Farbröntgenbilder verbessert werden.

Da die medizinischen Untersuchungsobjekte niedrige Absorptions- und Streukoeffizienten besitzen, ergibt sich eine praktische Begrenzung der Wahrnehmung kleinster Objektdetails.

Eine brennfleckbedingte Schärfebegrenzung ist vorhanden, weil die bei Zentralprojektion auftretende geometrische Unschärfe mit Zunahme der Brennfleckabmessungen wächst.

Durch die begrenzte Strahlenbelastung tritt eine Bildunschärfe auf, die den Aussagewert des Röntgenbildes negativ beeinflußt. Bei der Arbeit am Röntgengerät ist stets daran zu denken, daß durch die biologischen Wirkungen der Röntgenstrahlen im Körper Schäden entstehen können, die oft erst nach vielen Jahren erkennbar werden. Während der Belichtung ist darauf zu achten, daß man nicht im Strahlenkegel steht, sondern in möglichst großem Abstand seitlich oder hinter der Röhre.

Die subjektive Auswertung von Röntgenbildern stellt innerhalb der Röntgendiagnostik ein Problem dar. Selbst bei guter Bildqualität ist das Erkennen von Details eine Erfahrungssache des Betrachters.

1. Geschichtlicher Rückblick

Schon 1915 hat D a u v i l l i e r sich mit dem Gedanken beschäftigt, das Prinzip des Fernsehens für die Röntgendiagnostik dienstbar zu machen. Er durchstrahlte mit einem eng ausgeblendeten Strahlenbündel zeilenförmig das Objekt unter Verwendung einer Nipkow-Scheibe. Die praktische Anwendung befriedigte jedoch nicht.

1932 versuchten J a n k e r und K a e s e r mit einer neuartigen Jonisationskammer eine Fernsehaufzeichnung des Durchleuchtungsbildes. 1940 kam L o r e n z zu dem Schluß, daß "die Energiebilanz und fernsehtechnische Verstärkung noch nicht ausreichen, um ein Röntgenfernsehbild zu erhalten, das in seiner Qualität dem Durchleuchtungsbild entspricht. Das Röntgenfernsehbild würde vielleicht heller, jedoch viel schlechter definiert sein als das Durchleuchtungsbild."

Erst die elektronische Röntgenbildverstärkung brachte in den Jahren 1948 - 1952 den entscheidenden Fortschritt.

In Deutschland benutzten J a n k e r und L u t z 1949 das Superikonoskop als Fernsehaufnahmeröhre. Der Röntgenbildverstärker wurde dann 1955 von J a n k e r mit dem Superorthikon gekoppelt. S t a u f f e r und Mitarb. sowie N o i x benutzten ebenfalls 1955 den Bildverstärker mit dem Vidikon, das in der Folgezeit immer stärker in den Vordergrund trat, anfangs bei chirugischen Röntgenuntersuchungen, dann aber auch in der internistischen Röntgendiagnostik. 1956 hatte H e i j n e bereits über das Bleioxidvidikon berichtet, das zu der Fernsehaufnahmeröhre Plumbikon führte. Diese Röhre besitzt im Vergleich zu anderen Vidikontypen einige Vorzüge: Es findet in der Fernsehaufnahmeröhre keine Kontrastminderung statt. Es ist fast kein Dunkelstrom vorhanden und die Trägheit ist geringer als bei den anderen Vidikonröhren.

Der Einführung des Fernsehens in die Röntgenologie folgten die Methoden der elektronischen Bildbeeinflußung. B i s c h o f f und S c h o t t beschrieben 1957 eine Anlage zur Kontrastanhebung feiner Details und elektronischen Bildspeicherung. S c h u t und O o s t e r k a m p haben 1958 die magnetische Einzelbildspeicherung angegeben und J u t r a s speicherte im gleichen Jahr Durchleuchtungsszenen auf Magnetband.

Die technische Weiterentwicklung wird sich hauptsächlich mit der Bildaufbereitung, der technologischen Perfektion der Röntgeneinrichtungen und ihrer Anpassung an die sich erweiternden Bedürfnisse der Medizin befassen müssen.

2. Vorteile der Radiokinematografie

Durch die Radiokinematografie wird heute eine räumliche Trennung des Objektdetails und eine Befreiung von Überlagerungseffekten ermöglicht. Die Zuordnung von Bilddetails zu den topographischen Verhältnissen des Objektdetails ist für den Betrachter bedeutend einfacher.

Die Radiokinematografie ermöglicht eine räumliche und zeitliche Befunderhebung. Diese Tatsache ist uns eine große Hilfe bei Betrachtungen von Bewegungsabläufen, speziell in Gelenken. Durch die Betrachtung auf einem Monitor kann man die aussagestärkste Einstellung aussuchen.

Ein großer Vorteil der Radiokinematografie besteht darin, daß das Durchleuchtungsbild ohne zusätzliche Strahlenbelastung des Patienten beliebig oft angesehen werden kann.

3. Indikation der Radiokinematografie

Bevor man sich der Radiokinematografie bedient, sollte man sich darüber im Klaren sein, daß Filmen nur dann sinnvoll ist, wenn sich das zu untersuchende Objekt bewegt. Der Hauptwert der Radiokinematografie liegt also hauptsächlich bei der Diagnose von Bewegungsstörungen und Bewegungshindernissen.

Kurz einige Beispiele für die Anwendung der Radiokinematografie:

a) Gelenke:
   Bewegungsfreiheiten und Bewegungsstörungen

b) Verdauungstrakt:
   Pharynx - Schluckaktstörungen
   Oesophagusbewegungen
   Magen- und Darmbewegungen

c) Herz und Gefäße:
   Herzfehler
   Angiografie

d) Lungenbewegungen

B. Technische Apparaturen

1. Die Röntgenröhre

Ein besonders häufig verwendeter Typ ist die Drehanodenröhre. Sie ist unentbehrlich für einen leistungsfähigen Röntgenbetrieb und besitzt einige Vorteile:

a) höchste Kurzzeitbelastbarkeit
b) große Spannungssicherheit
c) gute Zeichenschärfe
d) Wirtschaftlichkeit
e) kinopulsbetrieb durch Gittersteuerung

Die durchschnittlichen Spannungswerte mit denen diese Röhren betrieben werden, liegen bei 70 - 100 kV. Bei besonders korpulenten Patienten, die besonders stark absorbieren, liegen diese Werte höher.

2. Der Röntgenbildverstärker

Der Röntgenbildverstärker, versehen mit einer Betrachtungsoptik, stellte in der Zeit zwischen 1955 und 1960 den entscheidenden Fortschritt in der Durchleuchtungstechnik dar.

Der Röntgenbildverstärker wurde ursprünglich zur Helligkeitsverstärkung des Durchleuchtungsbildes entwickelt. Er wurde daher zunächst ausschließlich zur Bildverstärkerdurchleuchtung benutzt, bei der der Arzt das Ausgangsbild des Bildverstärkers mit Hilfe einer Betrachtungsoptik beobachtete. Seit der Einführung des Röntgenfernsehens hat dieses Verfahren an Bedeutung verloren, stellt aber heute noch für verschiedene Untersuchungen eine brauchbare Verbesserung gegenüber der konventionellen Durchleuchtung dar.

In den meisten Röntgenfernsehanlagen wird die Helligkeitsverstärkung durch die Hintereinanderschaltung zweier Ver-

stärkungsstufen erreicht. Von diesen ist die erste der Röntgenbildverstärker, an die sich als zweite Verstärkungsstufe die eigentliche Fernseheinrichtung anschließt. Der Röntgenbildverstärker ist innerhalb dieser Kette ein sehr wesentliches Bauelement, und seine Eigenschaften haben auf die Arbeitsweise und den Gebrauchswert der ganzen Anlage einen großen Einfluß.

Die Aufgaben des Bildverstärkers sind kurz folgende:

a) Verringerung der Strahlendosis (ca. 1/60 der Dosis für eine Großaufnahme).
b) Verminderung der Röhrenbelastung
c) Steigerung von Bildfrequenz und Szenendauer
d) Erhöhung der Bildschärfe durch Verkleinerung der geometrischen Unschärfe mittels kleinerer Brennflecke.

Aufbau des Röntgenbildverstärkers:

Im Bildverstärker löst das Licht des Röntgenschirmes, auf den das Objekt projiziert wird, Elektronen aus der Photokathode aus. Diese regen den Ausgangs- oder Betrachtungsschirm zum Leuchten an. Das Bild wird dabei im elektronenoptischen Strahlengang verstärkt. Diese Elektronenoptik zum Beschleunigen und Fokussieren der Elektronen besteht aus verschiedenen Elektronen, an die der Reihe nach höhere Spannungen gelegt werden.

Der Betrachtungsschirm wandelt die Elektronenenergie in Licht um. Die technische Ausführung läßt sich am besten an einer aufgeschnittenen Röhrenhälfte erkennen. Auf der Außenfläche der Glaskalotte befindet sich der Röntgenschirm, weiter sind die Elektroden der elektrostatischen Elektronenoptik und der Ausgangs- oder Betrachtungsschirm zu erkennen. Die Fotokathode wird im Vakuum auf die Innenfläche der Kalotte aufgebracht.

Die Bildverstärkung entsteht durch zwei Vorgänge:

a) Lichtquanten lösen aus der Kathode Elektronen aus, die durch Beschleunigung eine beträchtliche Energieerhöhung erfahren.
b) Die Leuchtdichte (Lichtstärke pro leuchtende Fläche) wird durch die elektronenoptische Verkleinerung gesteigert. Dabei bedeutet die Verkleinerung vom Kathodenbild auf den Betrachtungsschirm in der Größenordnung 1 : 10 eine Steigerung der Leuchtdichte von 1 : 100.

Übertragungseigenschaften des Röntgenbildverstärkers:

Auf dem Bildverstärkerausgangsschirm soll die Röntgenstrahlenverteilung möglichst genau der eintretenden Verteilung entsprechend abgebildet werden. Da die Röntgenstrahlen jedoch nicht sichtbar sind, können die Übertragungseigenschaften nur durch charakteristische Kennwerte bestimmt werden. Dazu gehören:

a) Vignettierung
b) Konversionsfaktor
c) Modulationsübertragungsfunktion
d) Signal-Rausch-Verhältnis
e) Auflösungsvermögen
f) Kontrastumfang

3. Filmkamera

Heute werden fast ausschließlich 35 mm Kameras verwendet. Für Gelenkaufnahmen genügt eine Aufnahmefrequenz von 16 - 24 Bilder/sec. Bei schnelleren Vorgängen sind 50 - 80 Bilder/sec erforderlich, um Phasentrennung zu erreichen oder Auflösungsvorgänge zu ermöglichen. Die Filme befinden sich in Kassetten, die Länge beträgt 60 m.

4. Röntgen-Bildverstärker-TV-Kette

Bei Röntgenfilmaufnahmen unter Fernsehkontrolle wird das Ausgangslicht des Bildverstärkers über ein Spiegelsystem sowohl der Film- als auch der TV-Kamera zugeführt. In den optischen Strahlengang wird dabei ein teilweise durchlässiger Spiegel eingeschwenkt, der den größten Teil des Lichtes zur Kinokamera durchläßt und den Rest der Fernsehkamera zuspiegelt. So kann man einerseits während des Kinobetriebes die Szene auf dem Monitor beobachten, andererseits wird berücksichtigt, daß die Filmkamera mehr Licht als die TV-Kamera benötigt, was sonst durch höhere Dosisleistung ausgeglichen werden müßte. Die Gefahr der Überschreitung der zulässigen Strahlenbelastung ist groß, da die relativ kleine Einzelbilddosis falsche Vorstellungen von der Gesamtbelastung vermittelt.

Folgende Umwandlungsprozesse muß das Röntgenstrahlenrelief auf dem Weg zum Bild im Sichtgerät durchmachen:

a) Röntgenstahlenrelief - Lichtbild am Leuchtschirm
b) Lichtbild - Elektronenbild im Bildverstärker
c) Elektronenbild - Lichtbild am Bildverstärkerausgang
d) Lichtbild - Videosignal im TV-Kanal
e) Videosignal - sichtbares Bild im Monitor

5. Magnetbandspeicher

Das Videosignal wird über einen schnellbewegten Magnetkopf auf ein Magnetband geschrieben. Das Magnetband ist ein Band aus einer dünnen Kunststoffolie, auf der einseitig eine sehr dünne Schicht Magnetmaterial aufgetragen ist. Die Breite des Bandes beträgt entweder 1 oder 2 Zoll (2,5 oder 5 cm). Der Magnetkopf, der das Signal aufschreibt und abliest, ist am Rande einer rotierenden Scheibe befestigt, um die das

Magnetband verhältnismäßig langsam in einer Schlinge herumläuft.

Im Vergleich zu den bekannten Tonbandgeräten muß ein Bildbandgerät einen sehr viel breiteren Bereich an elektrischen Frequenzen speichern. Bei einer hochwertigen Musikübertragung genügt es, Frequenzen bis zu 16ooo Hz (16 kHz) aufzuschreiben, während das Bildbandgerät den ganzen Bereich der Fernsehschwingungen bis etwa 5 MHz, also bis zu 3oo mal höhere Frequenzen speichern muß. Das gelingt nur durch eine sehr hohe Relativgeschwindigkeit zwischen Magnetkopf und Band und durch eine extreme Feinheit des Magnetspaltes im Schreibkopf. Der Magnetkopf bewegt sich durch seine Anbringung auf der rasch rotierenden Scheibe mit etwa 3o m/sec, also mit einer Geschwindigkeit von rund 1oo km/h relativ zum Band, obwohl die Bandgeschwindigkeit selbst nur etwa 1o cm/sec beträgt. Der Magnetspalt ist nur etwa $^1/_{1ooo}$ mm breit. Die hohe Relativgeschwindigkeit zwischen dem Kopf und dem Band und die geringe Spaltbreite stellen an die mechanische Präzision des Gerätes sehr hohe Anforderungen.

Aus diesem Grunde hat man zur Aufzeichnung von Fernsehbildern ein System mit bewegtem Videokopf entwickelt, der das Magnetband in schrägen Spuren beschreibt. Ein breites Magnetband läuft in einer Schraubenlinie fast um den ganzen Umfang einer stillstehenden Trommel. Die Steigung der Schraubenlinien entspricht der Breite des Bandes. Die Trommel hat auf ihrem gesamten Umfang einen Spalt, in dem ein Videokopf läuft, der auf einer rasch rotierenden Scheibe befestigt ist. Bei jeder Umdrehung schreibt der Videokopf eine Spur schräg über das Band.

Wegen der geringen Verschiebung des Bandes kommt die zweite Spur jeweils dicht neben der ersten zu liegen.

So wird das gesamte Band bis auf zwei schmale Streifen an seiner Unterkante und Oberkante voll beschrieben.

Die Umlaufgeschwindigkeit der Scheibe ist so gewählt, daß jeweils zwei Spuren ein vollständiges Fernsehbild enthalten. Der gleiche Videokopf wird auch für die Wiedergabe des Bildes benützt, wobei sich Band und Kopf in gleicher Weise wie bei der Aufnahme bewegen.

Damit der Kopf bei Wiedergabe genau der aufgezeichneten Spur folgt und nicht z.B. zwischen Schreibspuren läuft, muß sich das Band bei Wiedergabe in der richtigen Phase gegenüber dem rotierenden Videokopf befinden.

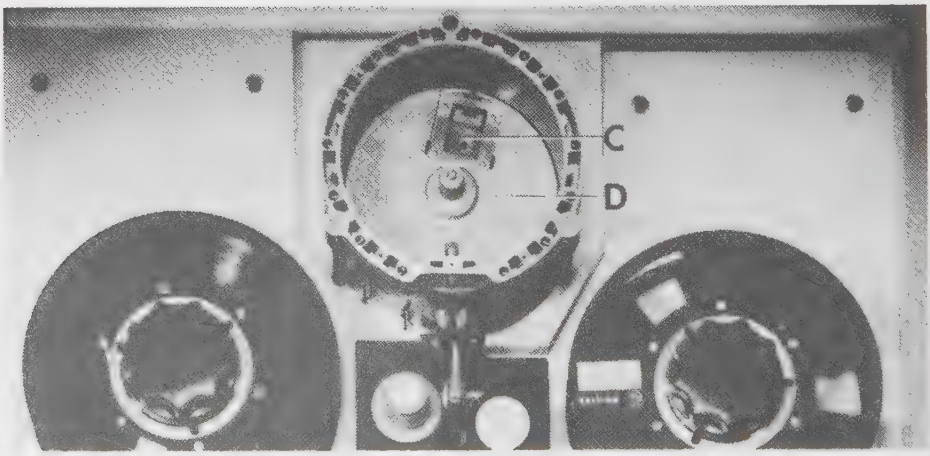

Abb. 1

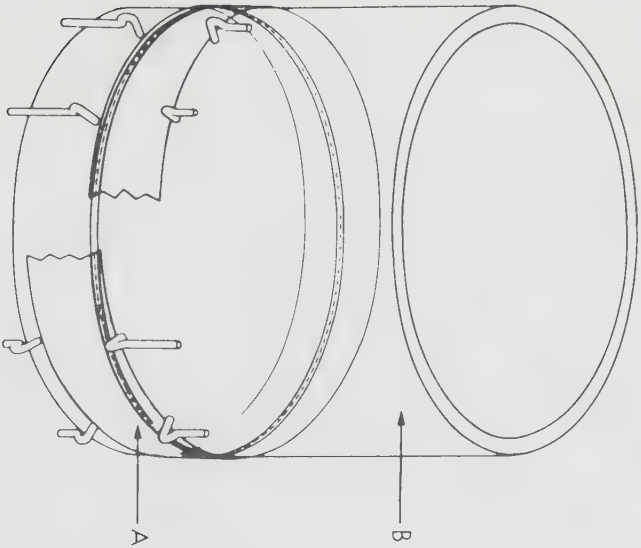

Abb. 2

2

Abb. 3

Ein Bandspeichergerät hat ein oder zwei Tonkanäle. Dadurch können bei der Untersuchung akustische Signale festgehalten und die Untersuchungsbefunde aufgesprochen werden.

Besonders wichtig ist die Forderung nach einfacher Bedienung. Auch das Bandeinlegen und das gelegentliche Reinigen der Magnetköpfe muß leicht möglich sein. Außerdem sollte der Videorecorder von jedem in Frage kommenden Arbeitsplatz aus fernbedienbar sein.

Eine genügend lange Spieldauer von etwa 2 Stunden ist notwendig, um im Einsatz nicht durch Bandwechsel behindert zu sein. Das Wiederauffinden aufgeschriebener Szenen muß durch ein Zählwerk und eine hohe Umspulgeschwindigkeit möglich sein.

Bei der Wirtschaftlichkeit spielt der Anschaffungspreis und die laufenden Betriebskosten eine Rolle. Bei den Betriebskosten ist u.a. die Lebensdauer des Magnetbandes maßgebend. Ein Magnetband kann mehr als 100 mal beschrieben und wieder gelöscht werden. Die Magnetköpfe haben eine beschränkte Lebensdauer.

C. Anatomie des Kiefergelenkes

1. Allgemeine Anatomie

Um das Kiefergelenk im ganzen, wie auch seinen Einbau im Gesamtschädel röntgenologisch beschreiben zu können, müssen wir uns zunächst noch einmal die Anatomie kurz vergegenwärtigen.

Das Kiefergelenk, articulatio temporomandibularis, bildet die bewegliche Verbindung zwischen Schläfenbein und Unterkiefer. Es ist zusammengesetzt aus der Gelenkgrube (Fossa glenoidalis) mit dem Gelenkhöcker (Tuberculum articulare), dem Kiefergelenkköpfchen (Processus condyloideus) des Unterkiefers, der Gelenkkapsel, der Gelenkscheibe (Discus articularis) und den Gelenkbändern.

Die Gelenkgrube liegt unterhalb der mittleren Schädelgrube und gehört zur Schuppe des Schläfenbeines. Sie bildet die Pfanne für das Capitulum mandibulare. Durch starke Verdickungen am Rande werden die Bewegungen aufgefangen. Nach vorne wird die Gelenkgrube von der vorderen Wurzel des Jochbogens begrenzt und stellt hier das Tuberculum articulare dar. Nach rückwärts und außen bildet die hintere Wand der Wurzel des Jochbogens die Begrenzung.

Das Kiefergelenkköpfchen ist der obere Teil des Processus condyloideus und zeigt sich in seiner Form als quergestellte ellipsoide Walze. An ihm unterscheidet man eine vordere, obere und hintere Fläche. Es stellt den artikulierenden Teil des Unterkiefers dar und ist durch die Außenhaut zu tasten.

Die obere und vordere Oberfläche des Köpfchens wird vom Gelenkknorpel bedeckt, welcher eine Dicke von 8 - 20 mm besitzt. Die artikulierende Oberfläche ist stark ge-

krümmt in anterior - posteriorer Richtung und leicht konvex in medio - lateraler. Junge Individuen haben abgerundete, ältere abgeflachtere Kondylen.

Die Gelenkzwischenscheibe liegt zwischen Schläfenbein und Gelenkköpfchen und ist entsprechend der Neigung der Gelenkgrube schräg nach vorn abwärts gelagert. Sie ist ungleichmäßig dick und paßt sich nach oben der Gelenkgrube und nach unten dem Gelenkköpfchen an, so daß sie in der Mitte konkav und am Rande konvex ist.

Auf die anatomische Betrachtung der Gelenkkapsel möchte ich nicht näher eingehen, da sie bei der Röntgendarstellung des Gelenkes nicht in Erscheinung tritt. Bemerkt muß noch werden, daß das Gelenkköpfchen aus spongiösen Knochen besteht, der gegen den deckenden derben Faserknorpel durch eine dünne Knochenschicht, die Knochengrenzlamelle, abgegrenzt ist. Die knöcherne Unterlage der Pfanne weist kompakten Bau auf.

2. Nervöse, arterielle und venöse Versorgung des Kiefergelenkes

Während die Bewegungen des Kiefergelenkes schon seit Mitte des vorigen Jahrhunderts lebhaft diskutiert werden, gibt es über die Nervenversorgung des Kiefergelenkes lediglich die makroskopische Darstellung von R ü d i n g e r (1857).

Der n. mandibularis versorgt mit seinen Fasern das Kiefergelenk von allen Seiten, wobei er den n. auriculo-temporalis, den n. massetericus und den n. temporalis profundus post. abgibt. Darüberhinaus spielen auch Fasern des Ganglion oticum eine Rolle, die der vegetativen Versorgung dienen.

a) n. auriculo - temporalis

Dieser Zweig, der die Haut um Tragus und Schläfe sensibel innerviert, gibt auf seinem Weg um das Kiefergelenk vier Gelenkästchen an die Faserschicht der Gelenkkapsel ab.

b) n. massetericus
Dieser Nerv innerviert den m. masseter und gibt regelmäßig vier Äste zur Versorgung der Gelenkkapsel ab.

c) n. temporalis profundus post.
Zieht am Ursprungswinkel des Proc. zygomaticus kranialwärts und gibt regelmäßig nur einen Ast zur Gelenkkapsel ab. Der Ramus articularis liegt frei beweglich im Bindegewebe und tritt senkrecht in die Gelenkkapsel ein, etwa an der Verwachsungsstelle des Discus articularis mit der Kapselschicht.

d) Der Gelenkast vom Ganglion oticum übernimmt die vegetative Versorgung der Gelenkkapsel.

Die a r t e r i e l l e Gefäßversorgung, ausgehend von der art. carotis externa über einen ihrer Endäste (art. maxillaris) übernimmt die art. auricularis profunda als Ast der Pars mandibularis art. maxillaris.

Der v e n ö s e Abfluß geht über die v. temporalis superior und den Plexus venosus pterygoideus als Abflußgebiet der v. maxillaris. Beide münden in die v. facialis, die ihrerseits im trig. submandibulare in die v. jugularis interna eintritt.

3. Physiologie und Funktion des Kiefergelenkes

Die physiologischen Bewegungen des Kiefergelenkes sind sehr kompliziert. Sie werden bewirkt durch ein genau abgestimmtes Zusammenspiel der Kaumuskeln, der Zahnreihen, des Nervensystems und des Gelenkes. Weitere Kräfte, die die Kaubewegungen mitbewirken, sind Gewicht des Unterkiefers , Unterzungenmuskulatur und die Elastizität des Oesophagus und der Trachea.

Die Hauptarten dieser physiologischen Bewegungen sind:

a) Öffnungs- und Schließbewegungen
b) Vor- und Rückschieben des Unterkiefers
c) Seitwärts- und Mahlbewegungen

Die Öffnungsbewegung wird durch die kontrahierende Unterzungenmuskulatur aktiv bewirkt (m. digastricus, m. mylohyoideus und m. geniohyoideus). Der m. pterygoideus lat. stabilisiert die Bewegung und hält den Kontakt zwischen Condylus und Tub. articulare durch Zwischenschaltung des Diskus aufrecht.

Der Kieferschluß wird vom m. temporalis, m. masseter und m. pterygoideus med. bewirkt.

Die Vorschubbewegung kommt durch die synchrone Bewegung der beiden mm. pterygoidei lat. zustande.

Die Seitwärtsbewegung wird durch die einseitige Kontraktion dieses Muskels hervorgerufen. Eine Kontraktion des linken Muskels zieht z.B. den Unterkiefer zur rechten Seite. Dabei bringt der m. temporalis der linken Seite ihn wieder zur Ausgangsposition zurück.

Der Discus wirkt als Druckverteiler und füllt den Gelenkspalt aus. Er zerlegt die Bewegung des Kondylus in seine funktionellen Komponenten und lenkt diese auf verschiedene Teile des Kiefergelenkes, indem er Spannungs- und Druckanstieg der Gewebe verhindert.
Über die Bewegungen des Kondylus gibt es je nach Autor und Untersuchungsmethode unterschiedliche Meinungen.

Aufgrund von Röntgenfilmuntersuchungen und extraoraler Aufzeichnungen ergaben sich folgende Ergebnisse:
G y s i (1908) gibt eine extraoral aufgezeichnete S-förmige Kondylenbahn an.

Z i m m e r (1961) beschreibt einen Weg, bei dem der Kondylus zunächst abwärts und dann, sozusagen um eine Ecke, nach vorwärts verläuft.

H i e l s c h e r (1961) findet einen nach kaudal gerichteten variablen bogenförmigen Ablauf der Kondylenbewegung.

Nach E i c h n e r s (1967) röntgenkinematografischen Studien nimmt das Capitulum mandibulare bei Öffnungs- und Schließbewegungen sowie beim Kauen einen bogenförmigen Verlauf mit nach kaudal gerichteter Konvexität. Dies deutet auf alleinige muskuläre Führung des Unterkiefers hin.

III. SPEZIELLER TEIL

A. Radiologie des Kiefergelenkes - Indikation und Zielsetzung

Radiologische Untersuchungen der Kiefergelenke werden immer dann notwendig sein, wenn der klinische Befund nicht zur Diagnose ausreicht. Röntgenaufnahmen am Kiefergelenk werden mit dem Ziel gemacht, Luxationen oder Subluxationen, Bewegungshindernisse, die das klinische Bild des "Knackens" hervorrufen, Gelenkfrakturen und deren Folgen, Gelenkspaltveränderungen und Deformationen der Gelenkbestandteile festzustellen.

B. Verschiedene radiologische Darstellungstechniken

Bei der röntgenologischen Darstellung des Kiefergelenkes bedient man sich meistens der Einstellungen, wie sie in der Otologie zur Darstellung des Felsenbeines angewandt werden. Von den über 25 verschiedenen Darstellungen, die in der Literatur beschrieben werden, sind die gebräuchlichsten die seitliche Aufnahmetechnik nach S c h ü l l e r (modifiziert nach L i n d b l o m), die nach S t e n v e r s und die Darstellungsmethode nach E.G. M a y e r.
Die Technik nach Schüller ist kurz folgende:
Der Patient wird so gelagert, daß die Medianebene des Schädels parallel zur Plattenebene kommt. Das Kiefergelenk der zu untersuchenden Seite wird an die Platte gelegt, die Röntgenröhre hat einen Neigungswinkel von 30 Grad. Gelenkspalt, Gelenkflächen und Gelenkpfanne werden mit dieser Technik gut dargestellt.

Bei der Aufnahmerichtung nach Stenvers ist die Gesichtshälfte des zu untersuchenden Kiefergelenkes der Platte so zugekehrt, daß der obere Orbitalrand, Jochbein und Nasenspitze der Platte

anliegen. Die Medianebene des Schädels stößt dabei in einem Winkel von 45 Grad auf die Plattenebene. Die Röntgenröhre ist nach hinten gekippt, der Zielstrahl bildet mit der Horizontalen einen nach unten offenen Winkel von 10 Grad. Er trifft auf der plattenfernen Seite den Schädel unterhalb und seitlich der Protuberantia occipitalis externa und ist auf das Kiefergelenk der plattennahen Seite gerichtet.

Die Darstellungsmethode nach E.G. Mayer:
Die Hinterhauptfläche der Seite des zu untersuchenden Kiefergelenkes ist der Platte angelegt und zwar so, daß die Sagittalebene des Schädels mit der Plattenebene einen Winkel von 45 Grad bildet. Die Röntgenröhre hat einen Neigungswinkel von 45 Grad nach vorne. Der Zielstrahl trifft den Schädel oberhalb des Orbitalrandes der entgegengesetzten, plattenfernen Seite und ist auf das zu untersuchende Kiefergelenk gerichtet. Es kann dabei zu Verzeichnungen und zu Überlagerungen kommen, so daß für feine diagnostische Zwecke diese Methode nicht zur Anwendung kommt.

Neben diesen angeführten Aufnahmemethoden gibt es noch die Nahaufnahmen nach P a r m a und E i s l e r und die perorbitale Aufnahme nach Z i m m e r .

Alle diese angeführten Darstellungen zeigen das Gelenk in einer Ebene. Um aber eine gründliche röntgenologische Diagnostik im Bereich des Kiefergelenkes zu ermöglichen, muß das Gelenk unbedingt in beiden Ebenen dargestellt werden. Die zweite Strahlenrichtung zur Ergänzung dieser Forderung kann lediglich durch die Aufnahmemethode nach U f f e n o r d e vorgenommen werden. Dabei wird, bedingt durch die gegebenen komplizierten Verhältnisse, der Gelenkspalt größtenteils durch die lateralen Partien der Schädelbasis überlagert.

Die hinsichtlich der Forderung nach der Darstellung in zwei Ebenen am günstigsten wirkende Technik ist die Darstellungsmethode mittels des S c h i c h t b i l d v e r f a h r e n s. P o e s c h e l hat bereits in seiner Habilitationsarbeit (1945) auf die grundlegende Prinzipien der Schichtbildtechnik am Schädel hingewiesen.

C. Anwendung des Videorecorders

Zu Beginn der Arbeit wurde auf die grundlegende Änderung, die unsere Röntgentechnik mit dem Röntgenfernsehen erfährt, hingewiesen. Einen wesentlichen Beitrag dazu leistet die Möglichkeit der elektromagnetischen Bandspeicherung. An der Tatsache, daß die laufende Registrierung des Durchleuchtungsbildes in vielen Fällen notwendig und zweckmäßig ist, wird bereits seit der Röntgenkinematografie nicht mehr gezweifelt. Eine Registrierung mit sofortiger Wiedergabemöglichkeit ist als optimal anzusehen. Das wird mit dem Bildbandspeicher erreicht. Das Durchleuchtungsbild wird auf einem Band elektromagnetisch registriert und kann wieder abgespielt werden, d.h. erneut sichtbar gemacht werden. Die Vorteile dieser Methode sind also evident.

Es gilt nun zu untersuchen, wie sich diese Methode in der Praxis bewährt. Bisher liegen Erfahrungen aus dem USA vor, In Deutschland hat die Anwendung dieser Methode erst später eingesetzt.
In den USA sind anfangs technisch noch sehr komplizierte Maschinen benutzt worden, die einen eigenen Techniker zur Bedienung erforderten. Jetzt dagegen haben einige Bandspeicher nur noch Kofferformat. Demzufolge ist auch der Preis schon in eine diskutable Dimension gerückt, so daß vom Technischen und Finanziellen keine Probleme mehr bestehen dürften. Die Bedienung der Geräte ist ebenfalls sehr einfach und bereitet selbst dem technisch wenig Begabten keine Schwierigkeiten.

Die Praxis der Bildbandspeicherung ist unterschiedlich. Sie richtet sich nach der Größe des Röntgenbetriebes und seiner Arbeitsweise.

Kleinere Institute, in denen die Bildbandspeicherung zur nochmaligen Information des Durchleuchters selbst dient, werden den Bildbandspeicher im Durchleuchtungsraum aufstellen und seine Bedienung unmittelbar am Gerät vornehmen.

Größere Institute, in denen der Videorecorder von mehreren Durchleuchtungsplätzen aus gespeist und von anderen Plätzen aus (Arbeitszimmer, Demonstrationsräume, Hörsäle) abgefragt werden soll, werden ihn in einem eigenen Raum unterbringen und von den genannten Plätzen aus fernbedienbar machen.

Die Bildbandspeicherung mittels eines Videorecorders besitzt verschiedene Vorteile:
Die Registrierung dient einmal als Stütze des Gedächtnisses. Jede einzelne Phase der Durchleuchtung kann wiederholt betrachtet werden, ohne den Patienten nochmals den Strahlen auszusetzen.

Neben der Funktion der Gedächtnisstütze hat das gespeicherte Durchleuchtungsbild die Aufgabe, die Information zu vergrößern. Der Informationsgehalt der Durchleuchtung ist begrenzt durch die Bildqualität und die Schnelligkeit der Funktionsabläufe. Die wiederholte Betrachtung dieser Vorgänge im gespeicherten Fernsehbild vergrößert die Information, da bei Wiederholungen niedrigere Schwellenwerte erkannt werden können als bei nur einmaliger Betrachtung. Jedoch darf man die Ergebnisse solch mehrfacher Betrachtungen des gespeicherten Bildes nicht mit denen einer Durchleuchtungswiederholung gleichsetzen. Wie schon beim Röntgenkino erkennt man erst durch mehrmaliges Beobachten die Einzelheiten eines raschen Funktionsablaufes.

Beim Bandspeicher hat man jedoch den Vorteil, daß dieses nochmalige Anschauen ohne Zeitverlust und ohne höhere Dosisbelastung stattfinden kann.

Der Bildbandspeicher hat aber noch weitere Vorteile.
So kann z.B. von großen Nutzen sein, wenn die Durchleuchtung in größerem Rahmen diskutiert werden kann. Dadurch steigt die Befundausbeute und die diagnostische Sicherheit. Gemeinsame Betrachtungen, unabhängig vom Durchleuchtungsschirm, sind in vielen Fällen von Vorteil, vor allem aber bei der Besprechung von Spezialuntersuchungsergebnissen (Angiographien). Weiterhin kann das gespeicherte Bild im Rahmen von Demonstrationen (Vorlesungen usw.) Verwendung finden.

Welche Bildgüte produziert nun der Bandspeicher:
Ganz allgemein sicher eine geringere als die Bildverstärkerfernseheinrichtung, denn jedes Übertragungsglied vermindert die Qualität des Übertragenen. Die Bildbandspeicheraufnahme ist also weniger informativ. Auch ist der Bildcharakter meist unterschiedlich, da Original und Speicherbild verschiedene Gradationen haben.

Die Anwendung des Bandspeichers wird das Schwergewicht der Untersuchung - noch mehr als es schon durch das Röntgenfernsehen geschieht - von der Aufnahme in Richtung auf die Durchleuchtung hin verschieben, weil durch den Bandspeicher der Durchleuchtung die Einmaligkeit der Beobachtung genommen wird und sich so der Informationsinhalt wesentlich vollständiger auswerten läßt.

D. Röntgenkino und Videorecording

1. Arbeitsgang

Der Patient sitzt in einer aufrechten Haltung. Mit Hilfe des Bildes auf dem Monitor wird die günstigste Einstellung festgelegt. Die Röntgenstrahlen werden auf eine Fläche von ca. 2000 cm^2 eingeblendet, um im Objekt möglichst wenig Streustrahlung zu erhalten. Die Übertragungseigenschaften des Bildverstärkers lassen sich verbessern, wenn das Eingangsfeld nicht voll angeregt wird und wenn die Verkleinerung nicht zu stark ist.

Der Patient wird nun aufgefordert den Mund zu öffnen und zu schließen. In einer weiteren Studie spricht der Patient schwierige Worte. Diese Bewegungen werden gleichzeitig mit der Röntgenfernsehkette und dem Videorecorder aufgenommen. Weiterhin wurde während der Bewegungen des Patienten auch die Röhre mitbewegt. Es wurde also eine doppelte Bewegungsfunktion in die Studie eingebaut.

Anschließend wird der Film entwickelt, kopiert und in einem "Arri-Viewer", einem Gerät, das Einzelbild und Kinodurchlaufeinstellung erlaubt, ausgewertet.

All diese Vorgänge sind beim Videorecording nicht notwendig. Der Film kann sofort ausgewertet werden.

2. Technische Daten

Röntgenröhrentyp:	Rotalix XF 3001
Bildverstärkertyp:	Philips X 63000/10
Filmkamera:	Arriflex 35 mm
TV-System:	Philips XG 7101/00
Röntgenanlage:	Neurodiagnost (Diagnost N)

Filmmaterial:	Agfa Gevaert Gevapan 30
Videorecorder:	Philips Medical-Videorecorder
Bandmaterial:	Agfa Gevaert PEV 385
	Typ.Nr. XG 9070/10

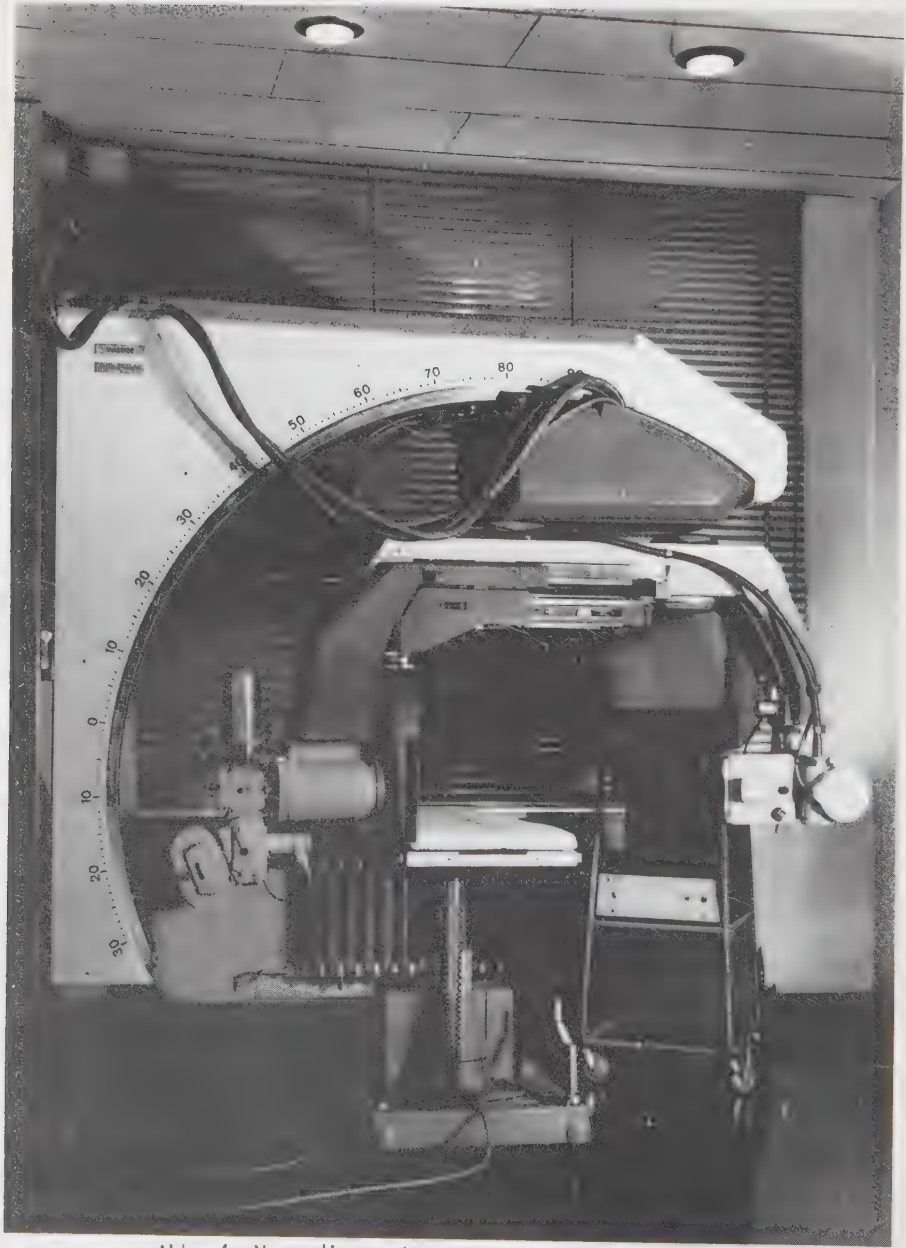

Abb. 4 Neurodiagnost

3. Ergebnisse

In einer gemeinsamen Studie wurden mehrfach die Leistungen des Kiefergelenkes während des Kauvorganges und des Sprechvorganges untersucht. Es zeigte sich hierbei nochwendig, daß exakte synchrone Tonaufzeichnungen für die Studie der einzelnen Bewegungsabläufe notwendig sind. Exakt synchrone Abläufe sind im Kinoverfahren aber nur mit Hilfe der Pilottonkontrolle im Bereich der Synchronisität der vergleichenden 50 Hz-Spannung möglich.

Dieses Pilottonverfahren, das im Synchronbetrieb bekannt ist, erfordert 1. spezielle Kenntnisse und ist 2. für den routinemäßigen Ablauf sehr schwierig, da spezielle Kopiervorgänge zum Röntgenkinofilm notwendig sind. Es muß der exakt synchronisierte Ton auf die synchron laufende Kamera aufgetragen werden. Dieses Vorgehen ist, obwohl es bereits mehrfach versucht wurde und auch bereits Filme zum Aphasiestudium darüber vorliegen, in praktischer Untersuchung nicht anwendbar.

Es wurde daher versucht mit einem Videorecorder gleichzeitig Ton und Bewegungsbild der Röntgenfernsehkette aufzunehmen. Es zeigte sich jedoch, daß die Leistung der Fernsehkette bereits für das, für den Pathologen einfache Thema des Kiefergelenkes relativ schwach ist und das, obwohl die Tonaufzeichnung einfach ist, die Erkennung von Einzelheiten, sinsbesondere das Ausmessen von Bewegungen des Kieferköpfchens gegenüber der Gelenkpfanne praktisch unmöglich ist.

Es wurde nun in einem Vergleich die Grenzfähigkeit der Belastung der Apparatur festgestellt, wenn gleichzeitig die Röhre, wie es für die exakte Einstellung der sagittalen Kieferprojektion notwendig ist, während der Kinoaufnahme und während der Bewegungen des Unterkiefers mitbewegt wird. Es wurde also eine doppelte Bewegungsfunktion in die Studie eingebaut. Es bewegte

sich einmal das anatomische Subjekt, d.h. der Patient öffnete den Mund, und zum anderen wurde zur besseren räumlichen, praktisch pseudostereoskopen, Erfassung auch die Röntgenröhre langsam bewegt.

Es zeigte sich hierbei, daß bei der sagittalen Aufnahme die wegen der Breite des Abstandes zwischen beiden Kiefergelenken nur schwer beide Gelenke gleichzeitig am Rande des Bildwandlers erfassen ließen, daß im Fernsehen die Randunregelmäßigkeiten des Monitors und die häufig schwierige Nachstellung des Monitors gerade die Randpartien in der Darstellung verschlechterte, so daß der Vergleich sehr schwierig war.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

Die an sich bequeme Methode der gleichzeitigen Sprach-Lippen und Kieferregistrierung über einen Videorecorder, scheitert an der geringen Auflösung des Magnetbandes. Es lassen sich zu wenig Einzelheiten mit dieser Methode der Aufzeichnung erkennen. Dies gilt vor allem, wenn eine zweite Bewegung, nämlich eine Bewegung der Röhre mit eingesetzt wird um anatomische Einzelheiten besser erkennen zu können. Es hilft auch nicht der Einsatz einer Plumbikonröhre, die eine geringere Nachziehzeit besitzt.

V. LITERATURVERZEICHNIS

Axhausen, G.:
Die Krankheiten der Gelenke.
Allgem. Chirurgie in der Zahn-, Mund- und
Kieferheilkunde, München 1949.

Benninghoff - Goerttler:
Lehrbuch der Anatomie des Menschen
1. Band 1968, Verlag Urban und Schwarzenberg.

Clementschitsch, F.:
Die Röntgendarstellung des Gesichtsschädels
Verlag Urban & Schwarzenberg - Wien 1948.

Eichner, K.:
Röntgenkinematografische Studien der Bewegungen des
Kondylus zahnloser Patienten.
DZZ 22, I 254 (1967).

Fenner, E.:
Elektronenoptischer Röntgenbildverstärker -
Kennwerte und Einsatz in der Röntgendiagnostik.
Siemens-Zeitschrift 41/9/749-755 (1967).

Frenkel, G.:
Histologische Untersuchungen am Discus articularis.
DZZ 20, 6, 616 (1965).

Gebauer, Lissner, Schott:
Das Röntgenfernsehen.
Thieme-Verlag, Stuttgart (1965).

Gitt, M.:
Die Radiokinematografie des Kiefergelenkes.
Med. Diss., München - 1970.

Gunkel, A.:
Die radiologischen Untersuchungen der Kiefergelenksfunktion zur Klärung des neuralgiformen Gesichtsschmerzes.
Med. Diss., München - 1968.

Gysi, A.:
Beitrag zum Artikulationsproblem.
Berlin 1908.

Hielscher, W.:
Zur Kiefergelenksdiagnostik auf röntgenologischem Gebiet unter Zuhilfenahme kinematografischer Studien der kondylären Bewegungsbahn.
DZZ 16, 1210 (1961).

Hielscher, W., Frommhold:
Neuere Gesichtspunkte zur Diagnostik der deformierenden Arthropathien.
DZZ 17, 362 (1962).

Hjörtsjö, C.H.:
Anatomie und Physiologie des Kiefergelenkes.
Fortschritte der Kiefer- und Gesichtschirurgie,
Bd. IV, S. 16, Thieme-Verlag, Stuttgart 1960.

Kranz, P.P.:
Klinische Zahnheilkunde und ihre Grenzgebiete.
Carl Hanser-Verlag, München 1946.

Lissner, J.:
Apparative Möglichkeiten des Röntgenfernsehens
Ärztl. Forsch. 18 (1964), 473 - 479.

Lissner, J., A. Gebauer:
Erfahrungen mit einem neuen Bildverstärker -
Vorteile für die Kinematografie und für Einzelaufnahmen
vom Bildverstärkerausgangsschirm.
Deutscher Röntgenkongreß 1964.
Thieme-Verlag, Stuttgart 1965, 246 - 248.

Lissner, J., H. Riemann:
Ergebnisse mit der Bildverstärker- und Fernsehkinematografie.
Deutscher Röntgenkongreß 1963.
Thieme-Verlag, Stuttgart 1964, 225.

Lissner, J., H. Riemann:
Weitere Ergebnisse mit der Bildverstärker- und Fernseh-
kinematografie.
Röntgen-Bl. 16 (1963), 193.

Lissner, J., H. Gebauer, H. Gajewski:
Über den diagnostischen Wert vergrößerter Röntgenaufnahmen
des Ausgangsbildes eines Röntgenbildverstärkers auf 70 mm Film.
Deutscher Röntgenkongreß 1963.
Thieme-Verlag, Stuttgart, 1964, 228 - 231.

Lissner, J., A. Gebauer, H. Riemann:
Kinematografie mit Hilfe der Television.
Fortschr. Röntgenstr. 99 (1963), 102 - 105.

Parma, C.:
Röntgenografie der Zähne und der Kiefer.
Urban & Schwarzenberg, Berlin und Wien - 1936.

Puff, A.:
Zur funktionellen Anatomie des Kiefergelenkes.
DZZ 18, 1385 (1963).

Puff, A., Krause, G.:
Röntgenkinematografische Untersuchungen am Kiefergelenk unter funktioneller Belastung.
DZZ 20, 189 (1965).

Steinhardt, G.:
Röntgenologische und vergleichende anatomische Untersuchungen zur Diagnostik des gesunden und kranken Kiefergelenkes.
Dtsch. Zahnärztl. Wschr. 37, 2, 38 (1934).

Zimmer, E. A.,:
Die Röntgenologie des Kiefergelenkes.
Schweiz. Mschr. Zahnheilkunde 51, 949 (1941).

Brachmann, F.:
Ein Beitrag zur röntgenologischen Darstellung des Kiefergelenkköpfchens.
Zahnärtliche Welt 13 (1950).

Herrn Prof. Dr. K. DECKER möchte ich meinen herzlichsten Dank aussprechen für die Überlassung des Themas, die wertvollen Anregungen und die großzügige Betreuung der Arbeit.

LEBENSLAUF

Name:	Reinhard Merk
Geburtsort:	Dietenheim, Kreis Ulm
Geburtsdatum:	20. Januar 1946
Eltern:	Dr. med. Josef Merk und
	Frau Gisela, geb. Harder
Schulbesuch:	Volksschule in Kirchberg/Iller
	1.4.1952 - 1.4.1956
	Oberrealschule Memmingen
	1.9.1956 - 22.12.1960
	Math.-nat. Gymnasium Kempten
	16.1.1961 - 19.7.1966
Studium:	1.11.1966 an der
	Ludwig-Maximilian-Universität München
	26.4.1968 Naturwissenschaftliche Prüfung
	10.10.1969 Zahnärztliche Vorprüfung
	27.7.1972 Staatsexamen
Approbation als Zahnarzt:	7. August 1972